

# 津波浸水および避難モデルに基づく二海岸での減災の検討

三宅 凌<sup>\*1</sup> 山本 吉道<sup>\*2</sup> 梶田 佳孝<sup>\*3</sup>

## Investigation on Mitigating Disaster by Huge Tsunamis at Two Coasts

by

Ryo MIYAKE<sup>\*1</sup>, Yoshimichi YAMAMOTO<sup>\*2</sup> and Yoshitaka KAJITA<sup>\*3</sup>

(Received on Mar. 31, 2016 and accepted on May. 12, 2016)

### Abstract

Even though engineers have accumulated much knowledge about huge tsunamis and have developed useful numerical models for simulating tsunami inundation, problems remain for predicting inundation and evaluating disaster. For example, if tunnels passing under roads and railroads that otherwise act as wall-like obstacles for preventing inundation are disregarded, and if land gates cannot be closed due to a huge earthquake, the simulation results will produce incorrect evaluations. Moreover, even if the government recommends the construction of robust dikes, if the dikes cannot stop over-flows, such over-flows from rivers may actually increase the damage caused by inundation.

To handle such problems, this study investigated Oiso beach in Kanagawa prefecture and the Iwanuma coast in Miyagi prefecture.

**Keywords:** Huge tsunami, 2011 Great East Japan Earthquake, Keicho Earthquake, Disaster mitigation

## 1. はじめに

我国は、1993年北海道南西沖地震津波、1983年日本海中部地震津波など、数十年おきに大津波による甚大な被害を被ってきた。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震津波は東日本の太平洋沿岸に襲来し、これまでの予想をはるかに超えた地震・津波が岩手県、宮城県、福島県に甚大な被害をもたらした。さらに、30年後に南海トラフで境界型巨大地震による大津波の発生も危惧されている。このように巨大地震津波の襲来が現実的な社会問題となった今、巨大津波に対する効果的な避難を含む減災計画の策定は極めて重要であり、各所で検討されている。

しかし、津波浸水予想のための数値モデルの性能は大きな震災毎に向上してきたが、その使用に際して幾つかの問題が残されている。例えば、大領域での浸水予測のために計算格子間隔を大きくとった場合、浸水防止壁として期待できる盛土状道路・鉄道に開けられた横断トンネルを考慮できなくなる可能性大である。また、大地震が起きた直後では、陸閘が開門したままであったり、大地震の影響で閉まらなかったりする可能性大である。さらに、粘り強い海岸堤防が正面からの浸水量を抑えても、近くに河川がある場合、ここからの浸水が大きな被害を発生させる可能性がある。

それゆえ、本研究では、大津波襲来の可能性があり、

且つ、河川からの浸水が無視できない神奈川県花水川河口（東岸は大磯町、西岸は平塚市）と宮城県阿武隈川河口（北岸は岩沼市、南岸は亶理町）の周辺海岸を対象にした津波浸水及び避難シミュレーションを行い、前述のような問題が及ぼす悪影響について検討する。

## 2. 津波浸水と避難の計算法

### 2.1 津波浸水計算法の解説

#### a) 津波浸水数値モデル

津波の浸水数値モデルでは、計算領域内の水位上昇高と線流量（＝流速×水深）が求めるべき未知量になるため、沖側境界から水位上昇高か、線流量を与えて、陸方向へ非線形長波運動方程式と連続の式を連立して差分法（クランク・ニコルソン法）で解いていくのが一般的である。しかし、浸水域では高い地盤や構造物による非浸水域が存在するので、これを考慮に入れて計算する事が望ましい。本研究では、デカルト座標系を採用し、二次元コントロール・ボリューム内の浸水域と全域の比を考慮して、浸水流の非線形長波運動方程式と連続式を解き、工学上十分な精度を期待できる山本ら<sup>1)</sup>の数値モデルを用いる。

\*1 工学研究科土木工学専攻修士課程

\*2 工学部土木工学科教授

\*3 工学部土木工学科准教授

彼らの数値モデルの基本式を式(1)~(3)に示す。

連続の式；

$$\frac{\partial f_y q_x}{\partial x} + \frac{\partial f_x q_y}{\partial y} + \frac{\partial S \eta}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

x方向の運動方程式；

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{1}{S} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{S q_x^2}{d} \right) + \frac{1}{S} \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{S q_x q_y}{d} \right) + g d \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ - \frac{1}{S} \frac{\partial}{\partial x} \left[ d v_t S \frac{\partial (q_x / d)}{\partial x} \right] \\ - \frac{1}{S} \frac{\partial}{\partial y} \left[ d v_t S \frac{\partial (q_x / d)}{\partial y} \right] + \frac{f_c}{d^2} Q q_x = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

y方向の運動方程式；

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{1}{S} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{S q_y q_x}{d} \right) + \frac{1}{S} \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{S q_y^2}{d} \right) + g d \frac{\partial \eta}{\partial y} \\ - \frac{1}{S} \frac{\partial}{\partial x} \left[ d v_t S \frac{\partial (q_y / d)}{\partial x} \right] \\ - \frac{1}{S} \frac{\partial}{\partial y} \left[ d v_t S \frac{\partial (q_y / d)}{\partial y} \right] + \frac{f_c}{d^2} Q q_y = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここで、 $q_x$ と $q_y$ は各々xとy方向の線流量成分、 $\eta$ は水位、 $f_x$ と $f_y$ は対象となる計算メッシュのxとy方向に平行な辺の湿潤（流れが存在する）部分の割合、 $S$ は計算メッシュ内の湿潤（流れが存在する）面積の割合、 $d$ は水深、 $g$ は重力の加速度、 $v_t$ は浸水に対する渦動粘性係数（渦の大きさとして水深相当を想定）、 $f_c$ は家屋・施設・樹木による抵抗係数である。Qは両方向の線流量成分の合成値（ $=\sqrt{q_x^2 + q_y^2}$ ）である。

なお、連続式はコントロール・ボリュームのx向とy方向の流入出とボリューム面積全体での水位変動量の平衡を考えているため、第1項に $f_y$ 、第2項に $f_x$ 、第3項に $S$ が考慮されることになる。一方、運動方程式はコントロール・ボリューム内の質量全体に対する運動を考えれば良いので、 $S$ だけが考慮されることになる。

b) 津波浸水計算法

【花水川河口周辺の場合】

本浸水計算に必要な地形データは、神奈川県大磯町周辺の地形図と相模湾の海図を参考に、Fig.1に示す大磯町東部海岸と平塚市西部海岸の間に位置する花水川河口域を対象に、格子間隔5mで作成した。また、地表面の抵抗係数を決めるためには、Fig.2に示す家屋、施設、樹木が一格子間に占める面積比（建物占有率）を用いた。そして、神奈川県が2012年に実施した想定津波（マグニチュード8.5へ巨大化された1605年の慶長大地震）の浸水計算結果に合うように、沖側境界（平均水深80m）から、神奈川県の浸水計算結果より得られる水位上昇量の経時変化データを入力して計算した。

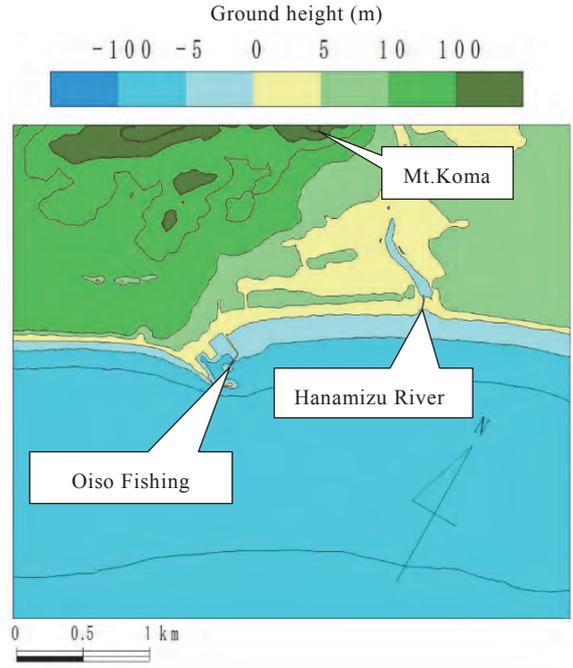


Fig. 1 Topographic map of Hanamizu River estuary.

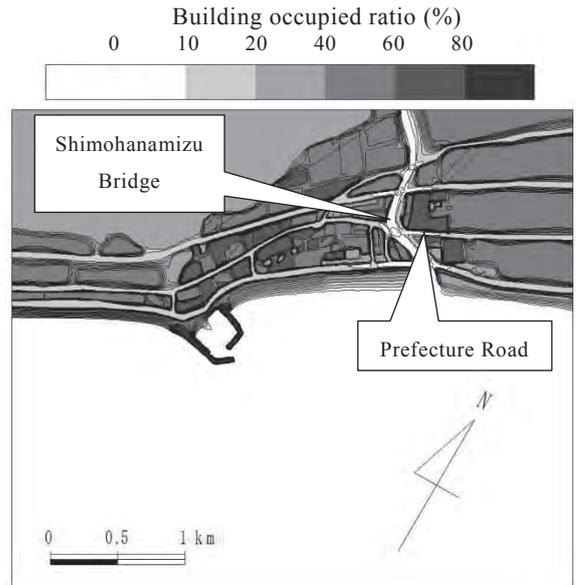


Fig. 2 Building occupied ratio around the Hanamizu River estuary.

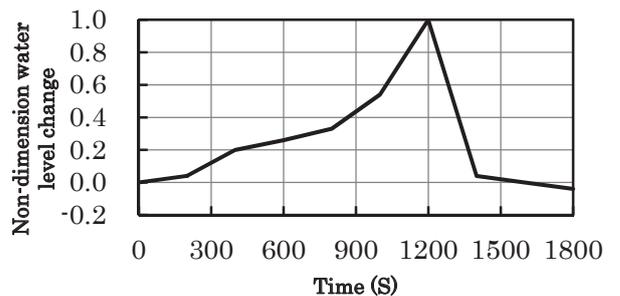


Fig. 3 Water level change of the tsunami on the offshore boundary.

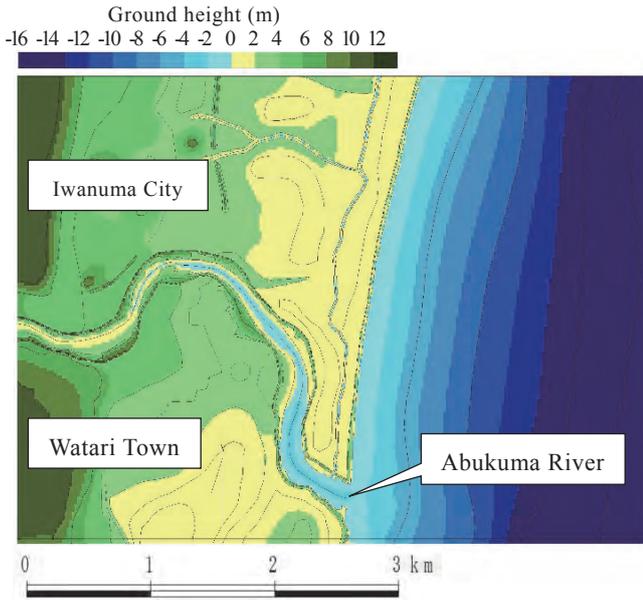


Fig. 4 Topographic map of the Abukuma River estuary.

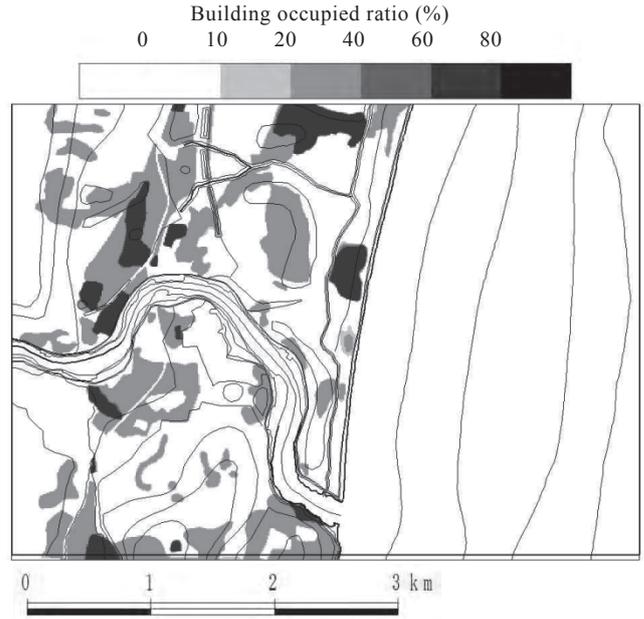


Fig. 6 Building occupied ratio around the Abukuma River estuary.

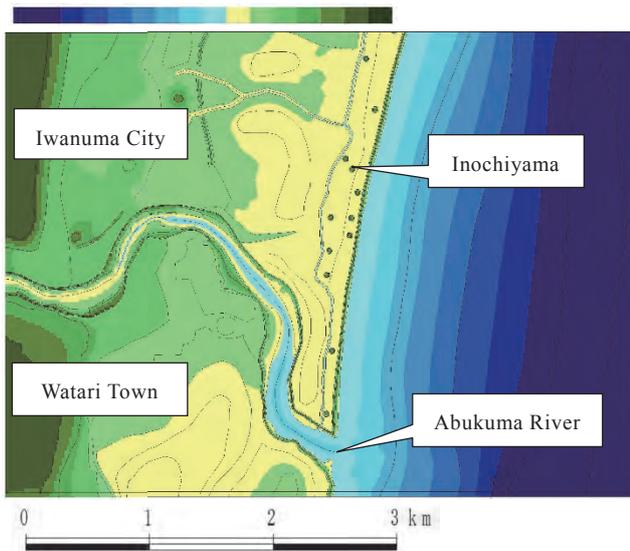


Fig. 5 Topographic map of the Abukuma River estuary.  
(New coastal dikes of crest height TP+7.3m,  
Mounds for refugees “Inotiyama”,  
and Tsunami control forest)

実際には、Fig.1の沖側境界からの入力データとして、Fig.3に示す水位経時変化グラフしか入手出来なかったため、経時変化にはFig.3の水位曲線を用い、これに乗ずる最大水位上昇高を変えて浸水計算を繰り返した結果、最大水位上昇高が3.5mの場合に、県の浸水計算結果と最も良く一致した。

【阿武隈川河口周辺の場合】

本再現計算に必要な地形データは、宮城県岩沼市の地形図と宮城県沖海図を用いて、Fig.4に示す岩沼市南部と亶理町北部の間に位置する阿武隈川河口域を対象に、格

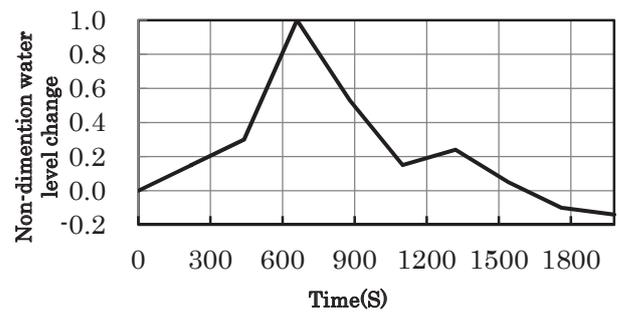


Fig. 7 Water level change of the tsunami on the offshore boundary.

子間隔10mで作成した。また、耐洗掘性海岸堤防（天端高T.P.+7.2m）と、命山（高さ10m, 11基）、および防潮林が完成している場合の地形図をFig.5に示す。そして、地表面の抵抗係数を定めるためには、Fig.6に示す家屋、施設、樹木が一格子間に占める面積比（建物占有率）を用いた。さらに、2011年東北地方太平洋沖地震による大津波の浸水実態に合うように、これらの図の沖側境界（平均水深20m）から、国土交通省岩手県中部沖GPSデータより得られた水位上昇量の経時変化記録を用いて計算した。具体的には、実際の最大水位上昇量で経時変化記録の値を割って、最大値が1になる無次元水位上昇比のグラフ（Fig.7参照）を作り、このグラフの値に最大水位上昇高を掛けて得られる時々刻々の水位上昇量を沖側境界から入力して浸水計算を行う。この計算を、最大水位上昇高を色々変えて行った結果、最大水位上昇高が岩沼市北側で5.5mと亶理町南側で6.0mの場合に、国土交通省の浸水実測結果（例えば、Fig.17）と最も良く一致した。

Table1 Data set on traffic volume.

	Number of OD pair	OD traffic volume (the number per hour)
Traffic volume of general cars	6×6	5600
Traffic volume of buses and trucks	4×4	1022
Number of evacuating persons	214×3	3001

Table2 Data set on evacuation behavior.

Setting items	Setting value or pattern
Evacuees	Dwellers of Oiso Town
Evacuation means	Walking, using motor vehicles
Refuge rate	100%
Refuge departure place	214 places
Shelter	3 places
Refuge departure time	Just after the tsunami occurrence
Simulation time	50 minutes
Arterial roads	All cars are available
Narrow street	Only evacuees are available

## 2.2 津波避難計算法の解説

### a) 津波避難数値モデル

本研究では避難命令のタイミングを検討するために、スペインTSS社で開発された交通シミュレーションソフト“AIMSUN”を用い、大磯町を対象に仮想都市を想定し、リンク、ノード（交差点）、信号、避難開始場所、避難所で構成される仮想ネットワークを設定して、避難シミュレーションを実行した。

### b) 津波避難計算法

避難可能時間の考え方及び避難行動の設定、交通量の設定はTable1とTable2に示めされる。

総リンク数は882で、ノード数は388であり、各リンクについては長さ、車線数、制限速度、リンク標高、リンクタイプなどを設定し、リンクタイプには国道、主要地方道と一般県道、一般道の3種類があり、一般道以外を幹線道路にした。リンク標高はリンクの中心点のあるメッシュの標高に設定した。自動車の自由走行速度を表すモデル式として式(4)、及び自動車の追従速度を表すモデル式に式(5)が設定されている<sup>3)</sup>。

$$V_a(n, t+T) = V(n, t) + 2.5a(n)T \left(1 - \frac{V(n, t)}{V'(n)}\right) \sqrt{0.025 + \frac{V(n, t)}{V'(n)}} \quad (4)$$

ここで、 $V(n, t)$ は時刻 $t$ での車両 $n$ の加速度、 $V'(n)$ は車両 $n$ の目標速度、 $a(n)$ は車両 $n$ の最大加速度、 $T$ は運転者の反応時間（シミュレーションサイクル）である。

$$V_b(n, t+T) = d(n)T + \sqrt{d(n)^2 T^2 - d(n) \left[ \frac{2\{x(n-1, t) - s(n-1) - x(n, t)\} - V(n, t)T - \frac{V(n-1, t)^2}{d'(n-1)}}{d'(n-1)} \right]} \quad (5)$$



Fig. 8 Inundation prediction result in the Hanamizu River estuary to the assumption tsunami by Kanagawa Prefecture. (The hazard map of Oiso city)

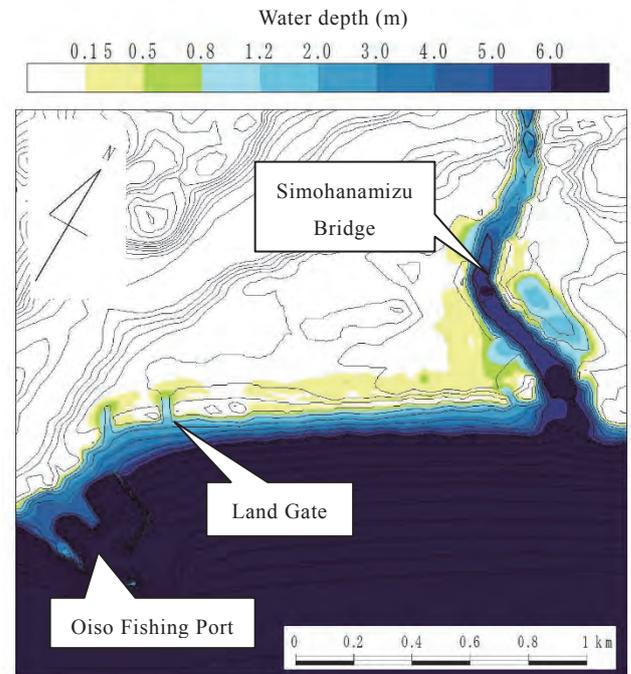


Fig. 9 Tsunami inundation prediction result after tsunami occurrence 53 minutes.

ここで、 $d(n)(<0)$ は、車両 $n$ の最大減速速度、 $x(n, t)$ は、時刻 $t$ での車両 $n$ の位置座標、 $s(n-1)$ は前方車両の長さ、 $d'(n-1)$ は車両 $n$ の運転者が感じる前方車両の減速度である。

また、国土交通省都市局<sup>4)</sup>による2011年東日本大震災での調査実績値から、自動車速度は8.76km/h、徒歩速度は2.65km/hとした。

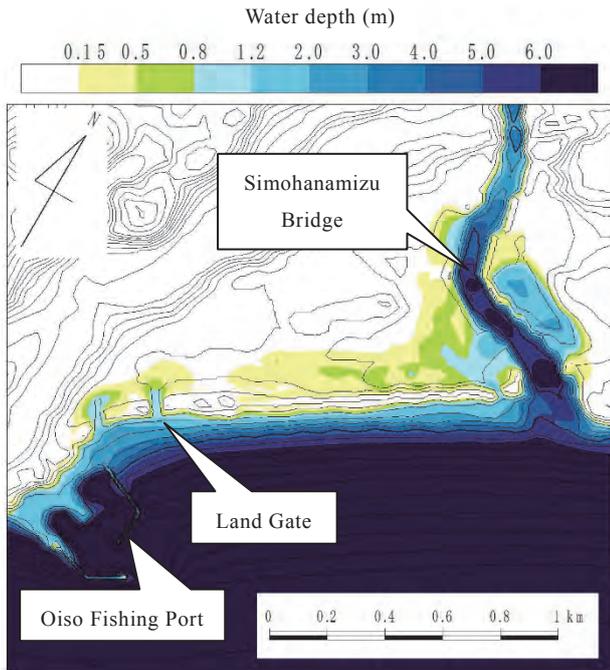


Fig. 10 Tsunami inundation prediction result after tsunami occurrence 54 minutes.

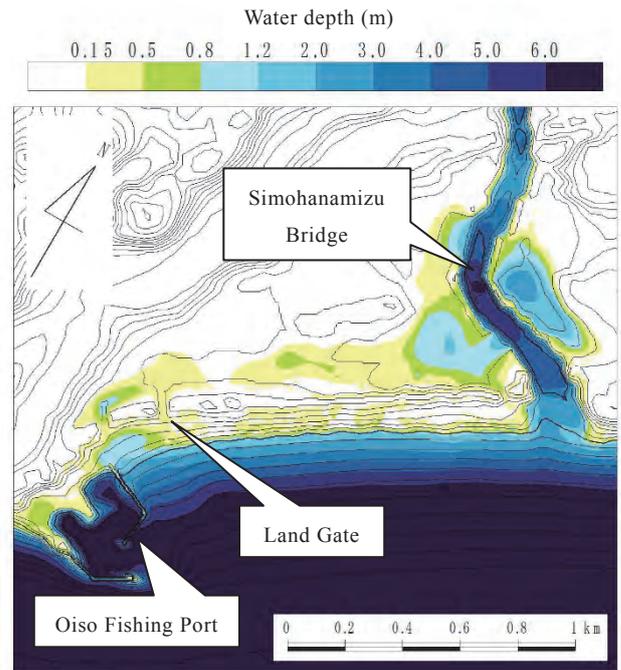


Fig. 11 Tsunami inundation prediction result after tsunami occurrence 55 minutes.

### 3. 津波浸水と避難の計算結果

#### 3.1 花水川河口域での津波対策検討

##### a) 津波浸水計算結果について

Fig.8は神奈川県が実施した津波浸水計算（慶長大地震、計算格子間隔36m~12m）結果による各格子上における最大浸水深の分布図を基に、大磯町が作成したハザードマップから花水川河口周辺部を取出したものである。

Fig.9~12は同想定津波に対して、著者らが実施した津波浸水計算結果（沖側境界での最大水位3.5m）の一例で、津波発生53分~55分後は浸水が急激に進んだ事を示しており、57分後は浸水面積がピーク時のものである。

神奈川県が実施した浸水計算結果では、計算格子間隔が36m~12mであるため、以下のような問題点がある。

県の計算結果では、下花水橋の南東側に位置する県道盛土にある横トンネルを考慮できておらず、盛土の海側に浸水深2m以上の深い浸水域が広がっている。格子間隔6mで実施した著者らの浸水計算結果では、Fig.11では下花水橋の南東側にある県道盛土の海側から陸側に跨って深い浸水域（同2m以上）が広がっているが、県の計算結果では浸水域が広がっていない事が判る。また、Fig.10とFig.12を見比べれば判るように、浸水域南部で浸水深が浅くなりつつあるが、内陸部では河川からの流入が続き100~200m程度侵入し続け浸水域が広がっていた。

さらに、大磯漁港近くの海岸線沿いでは、県の浸水計算で考慮できなかった陸間から浸水が生じて、陸側に約200mの浸水域が広がり、水は陸地に残ったままである。これらの理由は、著者らが、海岸線近くの大型陸間や

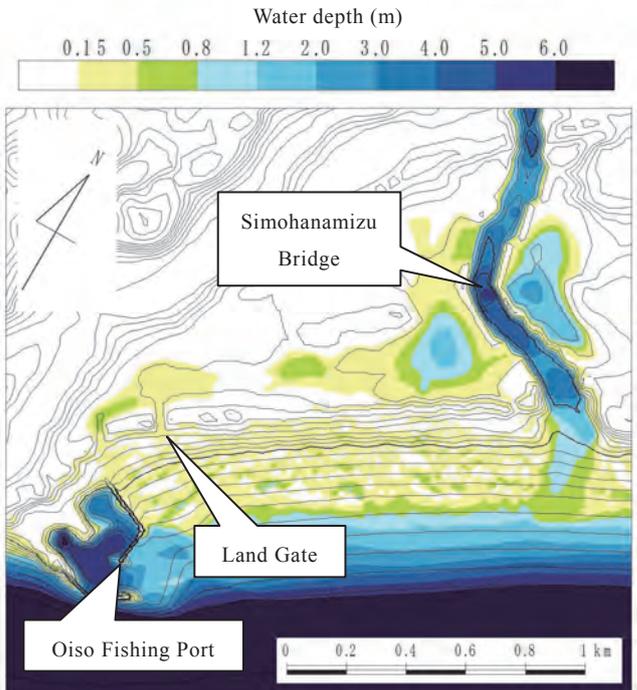


Fig. 12 Tsunami inundation prediction result after tsunami occurrence 57 minutes.

下花水橋右側にある県道盛土と周辺低地の違いを正確に考慮出来るようにすると共に、1923年南関東地震より大きな地震が発生すれば、陸間が閉められなくなる可能性が高いと考え、格子間隔6mの浸水計算において陸間を解放状態で計算したからである。

以上のとおり、両方の浸水計算の水深分布と浸水域は

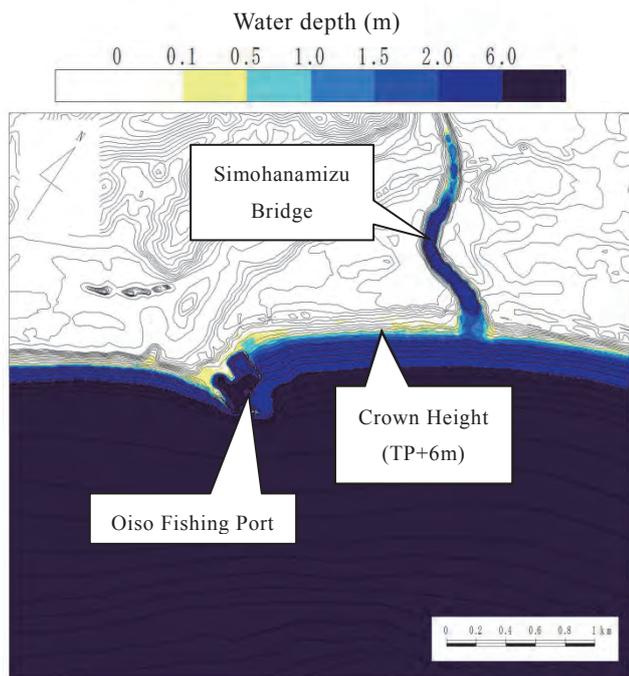


Fig. 13 Tsunami inundation prediction result in the case that the crown height of coastal and river dikes is TP+6.0m, all land gates can be closed (55 minutes after tsunami occurrence).

全体的に粗く一致している（ただし、県の計算結果図は時々刻々の被害状況ではないため、著者らの計算結果図と本質的には一致しない）ものの、格子間隔の細かさから、著者らの計算結果の方が局所的な再現精度で優れていることを確認した。

さらに、著者らは、津波高6.3m程度に対して、海岸堤防の天端高は既に6m以上あるので、花水川の河川堤防全域（4.5m～5.5m）の天端高を6mへ嵩上げし、全陸閘が確実に閉められるよう改良したケースの計算を実施した。その結果をFig.13に示す。Fig.11に示す津波発生から55分後の現状ケースの予測結果とFig.13に示す同時間の改良ケースの予測結果を比較して分かるように、花水川の河川堤防全域の天端高を6mへ嵩上げる事により、内陸部への越流を防げることが判った。

これらの結果から計算格子間隔を6mと細かくし、海岸線近くの大型陸閘や下花水橋南東側にある県道盛土と周辺低地の違いを正確に考慮出来るようにすることで、より精度の高いハザードマップの作成が可能である事を確認した。

#### b) 津波避難計算結果について

本避難シミュレーションでは、建物・施設や避難に必要な実道路ネットワークを作成し、神奈川県想定地震津波に対して、上記の分解能を高めた津波浸水計算法を用いてリアルタイムで再現した浸水データを活用した。

また、津波発生時の避難行動については、防災基本計画（中央防災会議）において、「徒歩によることを原則とする」とされているが、2011年東北地方太平洋沖地震当



Fig. 14 Inundation region 48 minutes after the earthquake occurrence. (At the time of an overflow)

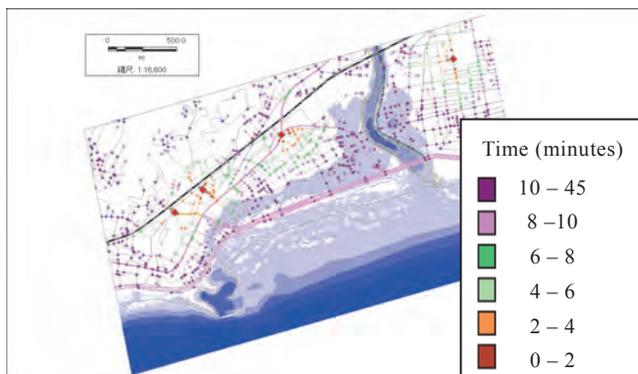


Fig. 15 Evacuation prediction by walking to the assumed tsunami.

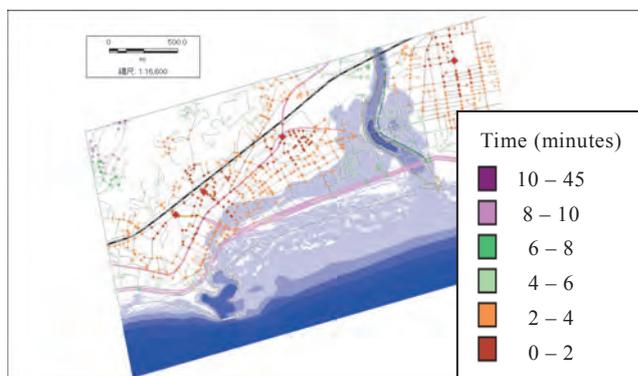


Fig. 16 Evacuation prediction by car to the assumed tsunami.

時に、半数以上が避難手段として自動車を利用したという調査結果が示されていたので、本避難シミュレーションでは、徒歩及び自動車での避難状況を検討する。

Fig.14は、赤点で示す各避難所の位置と道路網を詳細に表し、浸水計算48分後（津波越流開始時）の浸水状態を重ねた。

Fig.15は歩行困難者を除く徒歩による避難予測計算結果であり、避難所への各避難所要時間を表している。徒歩避難の場合、地震発生後の避難準備時間として15分、避難所で安全なフロアまで階段を上がるために15分を考

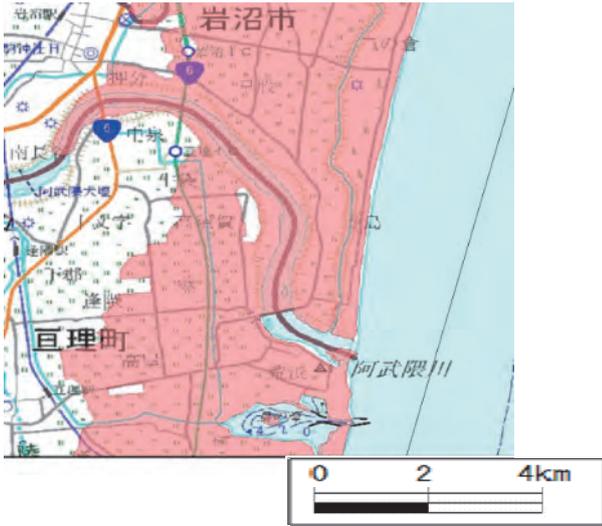


Fig.17 Real max inundation area by 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake Tsunami (from Geospatial Information Authority of Japan<sup>5)</sup>).

慮すれば、避難所への移動時間は本図より0～45分間であるから、地震発生後30～75分で避難を完了できる計算になる。

一方、津波が地震発生から海岸線に到達する時間は45分、最大浸水域まで到達する時間は55分と予測された。したがって、55分引く30分から、避難所への移動時間が25分以下の地域では無理のない避難が可能であるが、移動時間が35分以下の地域では、避難準備時間と移動時間を各々5分間短縮できるように、平素から避難時に必要になるものを入れた避難用品バックを準備し、避難訓練を実施するべきである。特に、移動時間が35～45分の地域では、現状での徒歩避難は困難であるため、もっと海側に安全な避難所を増設することが望ましい。

しかし、新たな避難所の増設は直ぐに出来ることではないため、津波来襲までに避難を終了できない特定地域の人々と歩行困難者のための検討として、自動車を利用する場合の避難予測も行った。Fig.16は、この自動車による避難予測結果であり、赤点で示す各避難所への移動に要する時間を表している。自動車による避難の場合、地震発生後の避難準備時間と避難所での階段を上がる時間として計30分を考慮すれば、避難所への移動時間は本図の避難時間を示す色、赤～緑の0～8分間であるから、地震発生後30～38分で避難出来る計算結果となり、津波が海岸線に到達する前に避難完了となる。

ただし、既存の公共施設はマグニチュード7.9の関東大震災に耐えられるように造られているが、今回の想定津波はマグニチュード8.5の新慶応地震津波であるから、これらの公共施設が地震動によって機能しなくなる可能性は高い。信号が止まり、路面にヒビが入った場合、交通事故が発生しなくても、国道1号線と国道134号線は勿論のこと、大磯町中心地内の各所で相当な渋滞発生すると考えるべきである。それゆえ、信号系と主要道路の耐震性を飛躍的に高めるか、移動時間35～45分の地域のための新しい避難所の増設を真剣に考える必要がある。

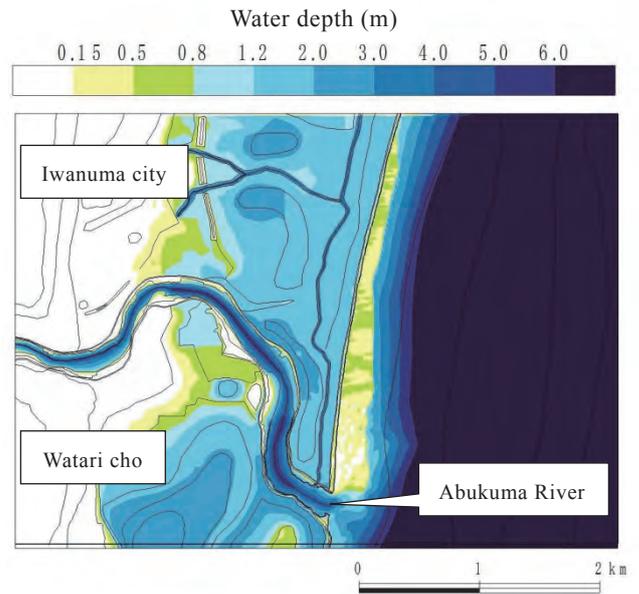


Fig. 18 Inundation simulation result in Iwanuma City to 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake Tsunami. (after tsunami occurrence 65 minutes)

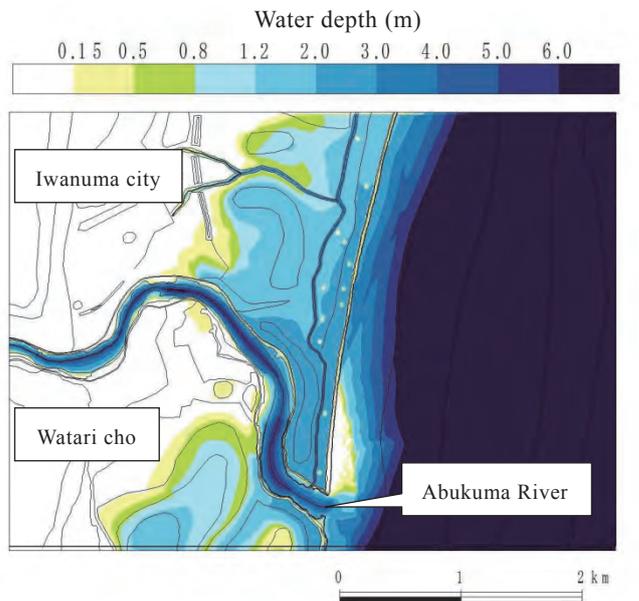


Fig. 19 Inundation simulation result under countermeasures in Iwanuma City to 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake Tsunami. (after tsunami occurrence 65 minutes)

### 3.2 阿武隈川河口周辺での津波対策検討

#### a) 津波浸水計算結果に対して

2011年東北地方太平洋沖地震津波では約50分後に阿武隈川河口域に到達し、約65分後に浸水域が最大になった。海岸堤防付近での最大浸水高は5m台となり、最大浸水域はFig.17に示す通りである。

著者らの浸水計算では、海岸堤防付近での最大浸水高

は5m台となり、津波発生65分後に浸水域が最大となり、その結果はFig.18に示すとおりである。本図の浸水域は実測の最大浸水域を示すFig.17と類似しており、要所の浸水深も概ね一致していたことから、使用した数値計算法は比較計算を行うに足る精度を有すると判断した。

次に本数値計算法の下に、岩沼市の津波被災軽減策(天端高T.P.+7.2mの粘り強い海岸堤防整備、貞山堀の堤防と陸側の平行道路の若干の嵩上げ、海岸林の再生、および、高さT.P.+8m以上の命山15基の建設)の効果を評価するため、本軽減策を考慮した地形データと建物占有率データを用いた計算を行い、津波発生65分後の浸水分布図をFig.19に示す。

Fig.18とFig.19の比較から、市の津波被災軽減策は、岩沼市側の阿武隈川河口近傍を除いて、浸水域と浸水深の両方で十分な軽減効果を有していることが判る。ただし、岩沼市側の阿武隈川河口近傍では、川からも相当な流入が有るため、嵩上げ補強した海岸堤防が海側排水を阻害することと相まって、浸水状況が悪化しており、河川堤防の十分な嵩上げと排水施設が必要である。

なお、防潮林によって浸水速度を弱めると共に、15基の命山(日和山富主姫神社等での実績有り)を適所に配置すれば、浸水防止効果は無いものの、命山の上部は浸水しないことを確認できたので、命山が避難場所として機能し得ることを十分に期待できる。

#### 4. 結論

- 1) 県レベルの大領域での津波浸水計算では、計算結果に無視できない影響を与える小規模施設を見落としている場合がある。神奈川県花水川河口域で実施した津波浸水計算では、計算格子を6mと細かくして、下花水橋右側近傍の県道盛土にある横トンネルや大磯漁港近くの陸閘を考慮した。その結果、神奈川県の浸水計算では、格子間隔(=36m~12m)が大きいため、県道盛土にある横トンネルを考慮出来なかったため、海水が盛土海側にのみ深く溜まっていたのが、格子間隔6mの浸水計算では盛土海側から陸側に跨って深く溜まるようになった。また、県の浸水計算では、大磯漁港近くの第9陸閘からの浸水を考慮できていない。それゆえ、盛土状道路・鉄道に開けられた横断トンネル、陸閘、水門などの存在を良く確認し、それらを考慮できる寸法の格子間隔で計算すべきである。
- 2) 花水川河口域での浸水計算では、海岸堤防(天端高T.P.+6~8m程度)に対して、海岸線での最大津波高がT.P.+6.3m程度であったため、ここからの浸水量は少なかった。しかし、河川堤防(天端高T.P.+6~5m)から大量の越流が生じ、地盤高T.P.+6m程度以下の陸域が水没し、最大浸水深は2.6mになった。それゆえ、河川堤防天端高をT.P.+6mへ嵩上げし、陸閘も補強されて正常に閉まると設定した場合の浸水計算から、大磯漁港とその近傍を除いて、浸水を概ね防止出来ることが

分かった。それゆえ、海岸からの浸水だけでなく、河川からの浸水に対しても配慮すべきである。

- 3) 花水川河口域を対象に実施した避難行動シミュレーションでは、徒歩による避難の場合、避難所までの移動時間が0~25分以内の地域では、無理のない避難が可能であるが、移動時間が25~35分間の地域では、津波発生後10分以内での避難開始を可能とする事前準備と、移動時間を30分以内で短縮するための避難訓練を実施する必要がある。特に、移動時間が35分以上かかる地域では、津波到達前に避難を完了することは困難であるため、避難所の増設か、自動車避難を可能とする信号・道路の耐震整備が喫緊の課題となる。
- 4) 花水川と阿武隈川の河口域での嵩上げ堤防整備下での浸水計算から、粘り強い壊れにくい堤防を整備すれば、海岸線からの浸水量を大幅に低減できることが分かったが、近くに河川がある場合、ここからの浸水が被害を大きくさせる可能性を無視できないことも分かった。阿武隈川河口域の浸水計算では、岩沼市の津波被災軽減策の効果として、天端高TP+7.2mの壊れにくい堤防の整備が、浸水域と浸水深の十分な軽減をもたらすことが分かったが、阿武隈川からも相当な流入が有り、嵩上げた海岸堤防が海側への排水を阻害するため、浸水状況が悪化し、より危険になる事も分かった。それゆえ、予算を確保出来るならば、河川堤防の天端をさらに高くするか、河川付近の住民が津波来襲前に迅速に避難出来るシステムを整備する必要がある。そのために、防潮林によって浸水速度を弱めると共に、高さ10mの命山を増設すれば、津波来襲時に緊急避難場所となる自然公園を整備したことになる。

#### 参考文献

- 1) 山本吉道, Nunthawath Charusrojthanadech, 成吉兼二: 津波による陸域構造物被害の合理的評価法の提案, 土木学会論文集B2(海岸工学), vol.67, No.1, pp.72-91, (2011).
- 2) 山本吉道, 成吉兼二: 津波による構造物被害予測法の研究, 海洋開発論文集, 第25巻, pp.819-824, (2009).
- 3) 劉明微, 梶田佳孝, 大枝良直, 橋本直樹: 交通シミュレーションを用いた路面冠水時の自動車避難に関する研究, 交通工学研究発表会論文集, 第30回, No.40, pp.157-160, (2010).
- 4) 国土交通省都市局: 平成24年4月津波被災市街地復興手法検討調査(とりまとめ), 82p, (2012).
- 5) 国土交通省国土地理院: 平成23年(2011年)東日本大震災10万分1浸水範囲概況図, D1, 691, (2011).